

令和元年6月6日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00431

研究課題名（和文）眼科治療のストレス低減・セキュア向上を目指すコンピュータシステムの構築

研究課題名（英文）Development of computer system for stress reduction and secure improvement on ophthalmology treatments

研究代表者

上浦 尚武（Kamiura, Naotake）

兵庫県立大学・工学研究科・教授

研究者番号：80275312

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、治療前後における眼科患者の精神的負担に直結する様々なストレスを軽減させるとともに、安全性も向上させるシステムの開発を目的とした。まず、病院内滞在時間削減策として待ち時間を30分以内の誤差で予測し、公共交通機関利用外来患者には通院時間情報も組み込んだ所要時間提示システムを構築した。次に、手術室内安全策として、前眼部OCTデータに現れる角膜厚特徴に基づく個人認識システムと、ニューラルネットワークを利用し、手術動画から左右眼を判定するシステムも構築した。また、問診票個人情報から記入患者に対する検査種を決定するシステムおよび人工レンズ挿入後の術後屈折度誤差を減じる計算式決定法も確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した所要時間提示システムは直接的待ち時間対策の一環であり、問診票個人情報からの検査種決定システムも、医師の問診票チェックを省くとともに待ち時間の有効利用をモチベーションとしている。待ち時間は患者が通院を躊躇する一因であり、「気がつけば最悪の事態」に陥ることを防ぐことから、本研究は医療コスト削減に貢献できる。また、高齢化により白内障患者数も激増し、重大医療事故発生の危険性が増している。OCT検査データのみ用いる本研究の認証システム、手術動画を用いた左右眼識別システムは患者および患部取り違えに起因する医師、患者双方のストレスを大きく削減するとともに、安全性も大きく向上させる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to develop systems useful in reducing the mental stress of ophthalmologic patients and in achieving secure improvements for ophthalmologic practices. First, a system of predicting binding time for ophthalmologic outpatients was developed.

It can reduce the prediction error for waiting time within 30 minutes, and access database associated with public transport to provide transit time for the outpatients using it. Next, a system of identifying ophthalmologic patients was developed. It prepares identification data from OCT inspection results. Next, a method of achieving high accuracy in discriminating right and left eyes was developed for ophthalmic surgery. It is based on convolutional neural networks. In addition, a system of determining examinations was proposed for ophthalmologic outpatients, using neural networks. It prepares data for network training and examination determination from handwriting sentences in interview sheets.

研究分野：機械学習、人工知能技術およびソフトコンピューティングの医療データ処理への応用

キーワード：待ち時間予測 院内滞在時間予測 個人認証 左右眼識別 畳み込みニューラルネットワーク

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

待ち時間問題は日本の医療現場において非常に重要となっている。大幅に長い待ち時間は患者が通院を躊躇する一因となり、これは「気がつけば最悪の事態」に陥ることを意味する。また、医師は受付から会計終了までが考慮された院内滞在時間を短縮すべきであると要望している。院内滞在時間の大部分は待ち時間であるため、前者の短縮は後者の削減を意味し、医師、患者双方の不満・ストレスを大きく軽減できる。

社会医療法人三栄会ツカザキ病院眼科（兵庫県姫路市）では、来院から診察までの間を待ち時間とみなし、その有効利用のため、外来患者の検査を診察前に済ませる。医師は初診外来患者に対する検査種を決定するために、同患者の問診票を一読しなければならない。これは各患者の診察時間を縮め、患者の不満・ストレスを増大させる。

患者は、治療前後もストレスを感じる。一般に、手術直前に患者の緊張度は最大となり、医師・看護師から何を尋ねられても「はい」としか言わなくなることがある。ID 確認の際、このような事態に陥ることは重大な医療事故の原因となる。また、眼科治療は、普及している網膜・虹彩認証が適用困難となる点眼薬を使用する可能性があり、検査データを用いた生体認証が医師から求められていた。

白内障の治療手術では、前もって IOL（人工レンズ）度数を 3 種の計算式のいずれかにより計算し、その結果から指定される IOL を挿入する。計算式の不適切な選択は術後屈折度誤差を拡大させ、手術後視力が期待していたほど向上しない患者はストレスを溜め込む一方となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、滞在時間削減対策、手術室内安全対策、手術成功率向上に焦点を絞り、眼科医および患者両者に対するコンピュータ支援ストレス軽減・安全性向上システムの開発を目的とした。具体的な研究テーマは、(1)眼科院内滞在時間予測・短縮システムの開発、(2)眼科検査種決定システムの開発、(3)眼科小規模入退室管理システムの開発、(4)眼科手術術後屈折度計算式決定システムの開発、以上である。

3. 研究の方法

本研究では、社会医療法人三栄会ツカザキ病院眼科から支援を受け、以下に示す方法により各テーマに取り組んだ。

(1)眼科院内滞在時間予測・短縮システムの開発

本テーマでは、来院当日以前の任意の時点で、任意の診察希望曜日における待ち時間の予測が可能となるシステムを開発した。本システムでは、待ち時間を来院時刻から診察開始時刻の間と定義し、患者は待ち時間においてすべての必要な検査を済ませるものとした。また、シミュレーションにおけるある時間の仮想来院患者数は、ガンマ分布の確率密度関数に基づき決定した。一方、それらの仮想来院患者に対する来院時刻間隔は、指数分布で決定した乱数にしたがって割り当てた。なお、これらガンマ分布、指数分布は、病院にて実地調査を行い得たものである。次に、患者に課す検査の実施順をシミュレーションにより決定させるために、病院での実地調査により、検査の流れに関する規則を見出した。以上を基に、患者が指定し、医師が入力した曜日に、同患者が診察までにどれほど待つかを情報提示するシステムを構築した。さらに、本システムを外部 Web サービスにアプリケーションプログラミングインターフェースを通じて接続し、公共交通機関を利用して来院する患者に対して、予約時間までに到着する最短経路および自宅出発時刻を通知する機能も付与させた。

(2)眼科検査種決定システムの開発

本テーマでは、問診票の自由記入欄に患者が筆記した文章を基に、その患者に必要な検査種の自動決定が可能なシステムを開発した。本システムでは代表的な眼疾患用検査種を検査群として 4 クラスに分類する。すなわち、問診票 4 クラス分類問題としてその記入患者がどの検査群を受けるべきか特定した。本システムでは、患者筆記文に形態素解析器である MeCab を使用し、文章を単語に分解した。これにより得られた単語が患者筆記文に出現したか否かをチェックすることにより、各問診票を数値ベクトル化した。そして、ベクトルデータ化問診票を学習データとし、畳み込みニューラルネットワークを完成させた。本システムはネットワーク学習で得た識別モデルを採用し、検査群を特定したい患者の問診票が属するべきクラスを決定した。

(3)眼科小規模入退室管理システムの開発

本テーマでは、まず Optical Coherence Tomography (OCT) によって測定された角膜厚検査結果から登録および照合データを生成し、個人認証するシステムを開発した。OCT は Axial Posterior, Reflective Keratometric, Instantaneous Keratometric, Height Anterior, Pachymetry などの各検査項目について 32 行 256 列の測定値行列を形成する。本システムは Pachymetry 上位値の一つと同値の行列における座標（行および列）を一組とする N 組をデータ要素として採用した。そして、登録データ-照合データにおける任意の組間で類似度を計算し、それらを加算した。本システムは、基本的に加算値最小となる登録データを照合データに対応するものと決定した。さらに、Instantaneous Keratometric 値、Reflective Keratometric 値および Pachymetry 値に関わるしきい値を設定し、それらによって定義される条件が満たされない場合は、照合データに対応する登録被験者なしとした。

次に、本テーマでは、畳み込みニューラルネットワークに基づく左右眼識別システムを開発した。これは、手術中の撮影動画からサンプリングされたフレームを学習済のシステムに印加し、そのフレームに現れている手術野が右眼か左眼かを判定するものである。本システムでは、判定高精度化の一環として、手術中の開瞼器の位置からそれが写り込むフレームを、同システムに与えるか判定する方法を導入した。この判定法は3段階からなり、第1段階では明度に関する条件を満たさないフレームを廃棄した。第2段階は焦点に関する選択であり、対象フレームをラプラシアンカーネルで畳み込んだ後、全ピクセルについて標準偏差の二乗を計算する。この値としきい値との比較により、同フレームを印加候補とするか決定した。最終段階は、SegNet とよばれるニューラルネットワークに基づく判定で、これは対象フレーム中の開瞼器におけるU字型湾曲部を検出する。そして、開瞼器の位置から定義される眼球を含む矩形が、対象フレーム内に欠けることなく現れていれば、同フレームを識別器に印加すべきものとして決定した。

(4)眼科手術後屈折度計算式決定システムの開発

機械学習の一種であるサポートベクターマシンにより、患者ごとにSRK/T, Holladay, Hoffer Qなる3種のIOL度数決定式のうち、いずれを使用するか決定するシステムを開発した。選択精度向上を目的として遺伝的アルゴリズムによるデータ要素選択・クレンジング法も確立した。

4. 研究成果

(1)眼科院内滞在時間予測・短縮システムの開発

2016年12月から2017年1月までにおける待ち時間実績値を評価用データとし、この期間における提案法の待ち時間予測精度を求めた。表1は実験結果の一例である。この実験では、ツカザキ病院眼科において最も来院患者数が多い月曜日を選び、眼圧と視力検査を行う実患者に対し、提案法を適用している。これらの検査は通常全患者が受けるので、上記病院で最も一般的な検査パターンと見なせる。平均予測誤差値は30分以内であり、文献①と同様の制度を維持することができた。また、図1に提案法のGUIの一例を示す。同図に示すように、提案法では最適自宅出発時刻と公共交通ルート情報を使用者に提示できる。これは文献①のシステムにはない利点である。今後は、実際の予約も考慮した待ち時間予測法を確立するとともに、GUIのユーザビリティを高める予定である。

表1 滞在時間予測システムの適用結果

予約時間	待ち時間実績(分)	予測値(分)	絶対値誤差(分)
9:00	45.1	55.8	10.8
9:30	61.2	61.7	0.4
10:00	67.2	59.5	7.7
10:30	65.9	58.7	7.2
11:00	63.6	55.3	8.3
11:30	67.3	62.8	4.6
12:00	69.0	61.8	7.3
12:30	74.3	86.8	12.5
13:00	56.0	52.8	3.2
13:30	35.0	56.0	21.0
14:00	83.6	52.4	31.2
14:30	52.9	54.8	1.9
15:00	54.4	59.0	4.6
15:30	36.0	55.6	19.6
16:00	78.0	46.0	32.0
16:30	56.8	58.0	1.2
17:00	55.0	66.5	11.5
午前診療受付時間帯平均	61.7	59.0	6.5
午後診療受付時間帯平均	53.0	55.1	13.6
診療受付時間帯平均	57.4	57.0	10.0
全時間帯平均	60.1	59.1	10.9

(2)眼科検査種決定システムの開発

本システムでは、散瞳系検査群、緑内障用検査群、前眼部系検査群、眼前運動系検査群をそれぞれクラス1, 2, 3, 4とし、2010年5月から11月までに記入された問診票自由筆記文を対象として検査群を決定した。結果を表2に示す。文献②で提案されたシステムは平均70.3%の決定精度であることと比較すると、本システムは5%の精度向上が認められる。また、ツカザキ病院勤務の眼科医との検査群決定力と比較した。医師らの平均精度が55.7%であることから、本システムは4検査群のみに限定す

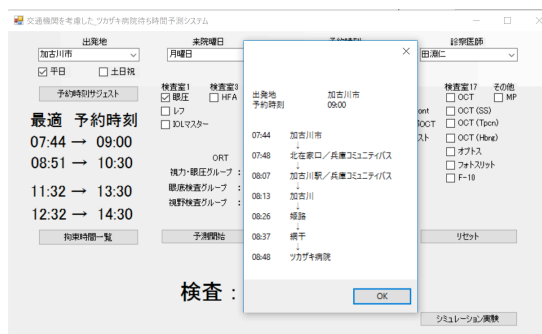


図1 滞在時間予測システムのGUI例

るのであれば、実用的なレベルにあると示される。今後は、筆記文における類語を考慮した単語リストの作成など、問診票ベクトル化法の改良により、さらに決定精度を向上させる予定である。

(3)眼科小規模入退室管理システムの開発

最初に OCT による検査結果から登録・認証データを生成する個人認証システムについて述べる。本システムをツカザキ病院勤務の成人 45 名に適用した。本システムは $N \geq 500$ としたとき、認証率が 100% となった。これにより、認証精度の観点からは、本システムは文献③のシステムと同程度と評価できる。次に、図 2 は本システムを本人拒否率(FRR)および他人受入率(FAR)の点から評価した結果である。入退室管理においては、 $FRR=0$ の条件でいかに FAR を低下させるかが重要になる。本システムは $FRR=0$ における FAR が文献③の 1/2 以下であり、認証精度が同等でも実用性は文献③のシステムより高い。今後は FAR がさらに低下されるように本システムを改良する予定である。

次に、ツカザキ病院における眼科手術動画に左右眼識別システムを適用した。結果を表 3 に示す。本システムでは、畳み込みニューラルネットワークで識別を行うが、その前に別のニューラルネットワークで動画像から得たフレームを識別用ネットワークに与えるか決定する。あるフレームが識別に不適と判定されたときは、直ちにそれに続く別のフレームの印加可否を判定する。表 3 において、「左右識別単体」はフレーム印加可否判定を省いた方法、「画像特徴選択」は通常の画像処理技術によりフレーム印加可否判定を行った場合、従来システムは、文献④で提案された識別法を適用した場合である。また、合格数(率)は識別用ネットワークに印加可と判定されたフレームの数(率)、正答数(率)は判定に成功したフレームの数(率)である。本システムは従来システムと正答率が同程度であるが、フレーム印加可否判定ネットワークを従来システムより少ない学習データ数で完成できる。すなわち、本システムは画像データを多数準備できない小規模な医療機関向きと期待できる。今後の課題としては、左右眼識別に適する良フレームを取得できるように、医師の撮影姿勢・動きについて助言する方法の確立が挙げられる。

(4)眼科手術術後屈折度計算式決定システムの開発

遺伝的アルゴリズムによるデータ要素選択・クレンジング法を確立、試行したが、文献⑤のシステムの決定能力と同程度のものしか開発できなかった。今後はサポートベクターマシンの代わりにディープラーニングに基づく識別ネットワークを採用し、決定能力を高めたい。

<引用文献>

- ① N. Kamiura, A. Saitoh, T. Isokawa, N. Matsui, and H. Tabuchi, "A Simulation-Based Approach in Estimating Waiting Time for Ophthalmology Outpatients," Int. Journal of Intelligent Computing in Medical Science & Image Processing, vol.5, no.1, pp.31-43, 2013.
- ② N. Kamiura, A. Saitoh, T. Isokawa, N. Matsui, and H. Tabuchi, "Ophthalmological Examination Determination Using Data Classification Based on Support Vector Machines and Self-Organizing Maps," Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics. Vol.26, No.2, pp.559-572, 2014.
- ③ N. Kamiura, M. Nii, T. Yumoto, T. Yamauchi, and H. Tabuchi, "On Clinical-Data-Based Personal Identification for Ophthalmological Patients," 2015 IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics, DOI: 10.1109/SMC.2015.405, Oct. 2015.
- ④ 石飛直史, 足立将門, 古川寛大, 亀山真弘, 升本浩紀, 田淵仁志, "Neural Network を用いた左右眼識別". 第 42 回日本眼科手術学会学術総会 講演抄録 p.56, 2018.
- ⑤ N.Kamiura, M.Nii, T.Yumoto, T.Yamauchi, and T.Tabuchi, "On Data Classification of Cataract Patients for Selecting Intraocular Lens Power Formula," Proceedings of 2015 7th International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology, 8305a174, 2015.

表 2 検査種決定システムの実験結果

正答\識別	クラス1	クラス2	クラス3	クラス4	正答率 [%]
クラス1	66.8	26.4	6.8	0.0	66.8
クラス2	15.6	75.6	4.0	4.8	75.6
クラス3	2.4	1.6	92.0	4.0	92.0
クラス4	12.4	6.4	9.6	71.6	71.6

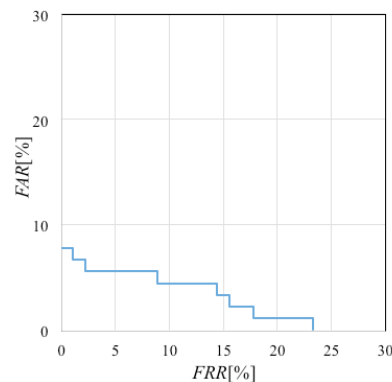


図 2 入退室管理システムの FAR と FRR

表 4 左右眼識別システムの実験結果

	合格数(率)	正答数(率)
左右識別器単体	41664(100%)	39239(94.2%)
画像特徴選択	18301(43.9%)	17978(98.2%)
本システム	3775(9.1%)	3766(99.8%)
従来システム④	2754(6.6%)	2750(99.9%)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- ① S. Morita, N. Kamiura, T. Isokawa, T. Yumoto, A. Emura, T. Yamauchi, and H. Tabuchi, "Ophthalmological Examination Determination Using Data Classification Based on Feedforward Neural Networks," Proc. of 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 査読有, 2018, pp. 884-889
DOI: 10.1109/SMC.2018.00158
- ② N. Kamiura, T. Yumoto, T. Isokawa, T. Yamauchi, and H. Tabuchi, "On Biometric Identification Using Optical- Coherence-Tomography Data for Ophthalmic Patients," Proc. 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 査読有, 2018, pp. 1370-1375
DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2018.00270
- ③ N. Kamiura, T. Isokawa, T. Yumoto, T. Yamauchi and H. Tabuchi, "On Expectation of Binding Time for Ophthalmological Outpatients," Proc. of 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 査読有, 2017, pp. 3077-3082
DOI: 10.1109/SMC.2017.8123099

〔学会発表〕（計8件）

- ① 田中晴之, 湯本高行, 磯川悌次郎, 上浦尚武, 升本浩紀, 田淵仁志, "ニューラルネットワークに基づく眼科手術用左右眼判定," 電子情報通信学会技術報告, 2019, FIIS-19-495
- ② 上浦尚武, 湯本高行, 磯川悌次郎, 山内知房, 田淵仁志, "眼科における生体認証に関する一考察," 第41回多値論理フォーラム, 2018
- ③ 森田翔治, 湯本高行, 磯川悌次郎, 上浦尚武, 山内知房, 田淵仁志, "機械学習を用いた問診票からの眼科検査種の推定," 電子情報通信学会技術報告, 2018, FIIS-18-472
- ④ 上浦尚武, "病院でのストレスを軽減するいくつかのアプローチ," 第78回FTC研究会（招待講演）, 2018
- ⑤ 上浦尚武, 湯本高行, 磯川悌次郎, 山内知房, 田淵仁志, "通院交通情報も提示可能な眼科患者に対する待ち時間予測," 第40回多値論理フォーラム, 2017
- ⑥ 上浦尚武, 白旗利行, 山内知房, 田淵仁志, "通院交通情報も提示する眼科待ち時間予測システム," 電子情報通信学会技術報告, 2017, FIIS-17-444
- ⑦ N. Kamiura, "Approaches to Problems of Managing Waiting Time for Hospitals in Japan," The 5th International Conference on Informatics, Electronics & Vison (招待講演, 国際学会), 2016
- ⑧ N. Kamiura, "On Personal Identification Using Clinical Data Obtained by Optical Coherence Tomography," The 6th International Symposium in Computational Medical and Health Technology (国際学会), 2016

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：田淵 仁志

ローマ字氏名：Hitoshi Tabuchi

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。